



Karakteristik Kimiawi dan Potensi Pemanfaatan *Dunaliella salina* dan *Nannochloropsis* sp

Radyanti Darsi¹, Agus Supriadi¹ dan Ade Dwi Sasanti²

¹ Program Studi Teknologi Hasil Perikanan Universitas Sriwijaya

² Program Studi Budidaya Perikanan Universitas Sriwijaya

Abstrac

The objective of this research was to know the chemical characteristics and the potential utilization of *D.salina* and *Nannochloropsis* sp. The research has been conducted from December 2010 until April 2012 in Technology Of Fishery Product Laboratory, Aquaculture Laboratory, Bioprocess Laboratory University of Sriwijaya and Integrated Laboratory Bogor Agricultural University. The parameters observed were biomass dry weight, proximate (moisture content, ash content, protein content, fat content, and total carbohydrate content), carotenoid, and amino acids.

Proximate composition of *Nannochloropsis* sp. obtained of this research were 58.00% ash content, moisture content 12.39%, protein content 16.17%, fat content 0.30% and total carbohydrate content 19.08%. Then total carotenoids 0.27 ppm, and essential amino acids (histidine, threonine, arginine, methionine, phenylalanine, valine, isoleucine, and leucine) and non-essential amino acids (aspartic acid, glutamic acid, serine, glycine, alanine, and tyrosine). As for the sample *D.salina* were the ash content 58.29%, water content 15.58%, protein content 17.08%, fat content 0.003% and total carbohydrate content 15.07%. Then total carotenoids 0.19 ppm, and essential amino acids (histidine, threonine, arginine, methionine, phenylalanine, valine, isoleucine, leucine, and lysine) and non-essential amino acids (aspartic acid, glutamic acid, serine, glycine, alanine, and tyrosine). From the results of data analysis and chemical characteristics of dry weight *D.salina* and *Nannochloropsis* sp. obtained in this study, biomass produced this research has the chemical characteristics of lower quality than the quality requirements of microalgae as an industrial raw material of food, feed, biodiesel and bioethanol.

Keyword: Karakteristik, Pemanfaatan, *Dunaliella salina* dan *Nannochloropsis* sp

1. Pendahuluan

Mikroalga merupakan tumbuhan bersel tunggal, berkembang biak sangat cepat dengan daur hidup relatif pendek (Panggabean, 1998). Mikroalga dapat tumbuh jauh lebih cepat dengan hanya membutuhkan media tumbuh yang lebih sedikit (Widjaja, 2009). Mikroalga biasanya menggandakan dirinya sekitar 24 jam sekali, namun pada fase eksponensial biasanya lebih singkat yaitu hanya 3,5 jam sekali (Chisti, 2007). Selain memiliki laju pertumbuhan yang sangat cepat, mikroalga juga memiliki senyawa metabolit yang dapat dijadikan sebagai alternatif pangan yang dapat bersaing dengan produk pertanian dalam mengatasi lahan yang semakin terbatas (Panggabean, 1998).

Mikroalga sebagai salah satu komoditi hasil perairan dewasa ini telah menjadi alternatif untuk dikembangkan karena memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai pakan maupun pangan. Kebanyakan spesies mikroalga menghasilkan produk yang khas seperti karotenoid, antioksidan, dan asam lemak (Hossain *et al.*, 2008). *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. merupakan contoh mikroalga yang berpotensi untuk dikembangkan terutama sebagai sumber karotenoid. Menurut Vonshak (1996), kandungan karotenoid dari

mikroalga mencapai 65% dari bobot biomassa keringnya. Sedangkan mikroalga *Nannochloropsis* sp. merupakan salah satu mikroalga laut yang mengandung lipid cukup tinggi dengan kisaran 31 - 68 % berat kering (Chisty, 2007).

Nannochloropsis sp. secara komersial dimanfaatkan sebagai bahan makanan, energi biomassa, pupuk pertanian, dan industri farmasi karena mikroalga ini mengandung protein, karbohidrat, lipid dan berbagai macam mineral. Seperti halnya jenis-jenis mikroalga lainnya, *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. dalam pertumbuhannya juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan maupun kandungan nutrisi dalam media tumbuhnya (Kabinawa *et al.*, 1994).

Pemanfaatan *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. banyak diaplikasikan pada berbagai bidang antara lain dalam bidang akuakultur, bioteknologi farmasi, agrikultur, dan lingkungan (Sasmita *et al.*, 2004). Namun pemanfaatannya ditentukan berdasarkan nilai nutrisi yang terkandung didalamnya (Anonim, 2009) sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kimiawi yang terkandung pada *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp.

2. Metode Penelitian

a. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: akuarium berukuran 25 cm x 25 cm x 25 cm, termometer, pH meter, beker glass 1000 mL, kurs porselen, neraca digital, timbangan, pipet volumetrik, tabung *sentrifuge*, kertas saring Whatman No.40, gas kromatografi (GC), HPLC, Oven, *sentrifuge*, dan refraktometer. Peralatan analisis seperti alat titrasi, soxlet dan kondensor.

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah starter *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp., media berupa limbah cair tahu, garam krosok serta pupuk teknis yang terdiri dari Urea (0,01 g.L⁻¹), TSP (0,01 g.L⁻¹), ZA (0,1 g.L⁻¹). Gandasil-B (0,003 g.L⁻¹) untuk *Nannochloropsis* sp. Bahan-bahan untuk analisis protein, lemak, asam amino, total karoten adalah: akuades, K₂SO₄, HgO, H₂SO₄, NaOH, H₃BO₃ 3%, HCl, pelarut heksana, larutan pengering (methanol dan trimetilamin), natrium asetat 1 M.

b. Prosedur Kerja

i. Persiapan Media

Akuarium berukuran 25 cm x 25 cm x 25 cm dengan volume 10 liter dibersihkan dengan air sabun lalu dibilas hingga bersih selanjutnya disterilkan dengan alkohol. Masing-masing akuarium diisi dengan limbah tahu yang sudah direbus dan didinginkan.

ii. Persiapan Pupuk Teknis

Pupuk teknis yang digunakan adalah modifikasi media teknis kultur *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. Pupuk ditimbang sesuai yang dibutuhkan yaitu : Urea (0,01 g.L⁻¹), TSP (0,01 g.L⁻¹), ZA (0,1 g.L⁻¹) dan untuk *Nannochloropsis* sp. ditambahkan Gandasil-B (0,003 g.L⁻¹). Pupuk yang telah ditimbang dilarutkan dalam 10 L media.

iii. Kultivasi Sel

Kultivasi biomassa mikroalga untuk persiapan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan media optimal yang mengacu pada hasil penelitian Rinitiani (2010) untuk *D. salina* dan Wijayanti (2010) untuk *Nannochloropsis* sp. Kepadatan awal mikroalga yang digunakan adalah 10⁶ sel.mL⁻¹. Akuarium diisi dengan air yang sudah direbus dan didinginkan. Garam krosok dimasukkan ke dalam akuarium dan dihomogenkan sampai tercapai salinitas 30 ppt untuk *Nannochloropsis* sp. dan 60 ppt untuk *D. salina*. Limbah tahu dituang ke dalam akuarium sesuai persentase, yaitu limbah tahu 81% + pupuk teknis 19% untuk *D. salina* dan limbah cair tahu 41% + pupuk teknis 59% untuk *Nannochloropsis* sp. Starter mikroalga ditambahkan sesuai kepadatan yang diperoleh lalu homogenkan. Akuarium diletakkan di bawah sinar lampu TL 36 watt dan diberi aerasi. Pengadukan dilakukan 2 x sehari (setiap pukul 09.00 WIB dan 14.30 WIB)

iv. Pemanenan dan Pengeringan

Pemanenan biomassa dilakukan pada saat kepadatan sel mencapai fase stasioner, dengan cara sebagai berikut :

Volume akuarium diambil sebanyak $\pm \frac{3}{4}$ bagian lalu diendapkan di dalam botol berukuran 1,5 L selama satu minggu sampai terbentuk endapan. Selanjutnya endapan dari mikroalga tersebut disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No.40 kemudian dimasukkan ke dalam kurs porselen yang telah disiapkan . Setelah ditimbang lalu di oven pada suhu 60 °C selama 24 jam kemudian dilakukan penepungan dengan cara menggerus dengan menggunakan mortar.

c. Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi analisis proksimat (kadar air, kadar abu, kadar protein, kadar lemak, kadar karbohidrat total dengan mengacu pada metode AOAC (1995), asam amino (AOAC, 1984), dan total karotenoid (Indrasti *et al.* (2006) dalam Mayanti (2009)).

3. Hasil dan Pembahasan

a. Karakteristik Kimiawi *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp

Hasil kadar proksimat yang diperoleh untuk sampel *D. salina* ialah kadar abu sebesar 58,29%, kadar air 15,58%, kadar protein 17,08%, kadar lemak 0,003% dan kadar karbohidrat total 15,07%, sedangkan total karoten 0,19 ppm, Asam amino esensial (histidin,threonin, arginin, metionin, fenilalanin, valin, isoleusin, leusin, dan lisin) dan asam amino *non-essensial* terdiri dari (asam aspartat, asam glutamat, serin, glisin, alanin, dan tirosin). Hasil kadar proksimat yang diperoleh untuk sampel *Nannochloropsis* sp. ialah kadar abu sebesar 58,00%, kadar air 12,39%, kadar protein 16,17%, kadar lemak 0,30% dan kadar karbohidrat total 19,08% , kandungan total karoten 0,27 ppm, dan asam amino esensial terdiri dari (histidin,threonin, arginin, metionin, fenilalanin, valin, isoleusin, dan leusin) dan asam amino *non-essensial* terdiri dari (asam aspartat, asam glutamat, serin, glisin, alanin, dan tirosin).

Hasil uji kimia dan bobot kering *Nannochloropsis* sp. (NT) dan *D. salina* (DT) yang dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60 °C yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

i. Bobot Kering Biomassa

Hasil rerata bobot kering biomassa yang dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60 °C untuk *Nannochloropsis* sp. pada penelitian ini yaitu 2,37 g.L⁻¹ dan untuk *D. salina* 3,29 g.L⁻¹ (Gambar 3). Hasil bobot kering yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan hasil penelitian Gao dan Hu (2006) untuk *Nannochloropsis* sp. yang hanya mencapai 0.308 g.L⁻¹ pada media *f/2-enriched artificial seawater*, *D. salina* yang diperoleh pada penelitian ini juga lebih besar jika dibandingkan dengan hasil penelitian Weldy dan Huesemann (2007) yang hanya mencapai 0,95 g.L⁻¹ (950 mg.L⁻¹) dengan media yang digunakan yaitu media modifikasi DR.Polle. Pada penelitian ini, jika untuk memproduksi 1 kg biomassa *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* kering dibutuhkan \pm 500 liter atau 0,5 m³. Sedangkan untuk Gao dan Hu (2006) dan Weldy dan Huesemann (2007) membutuhkan \pm 3.250 liter atau 3,5 m³.

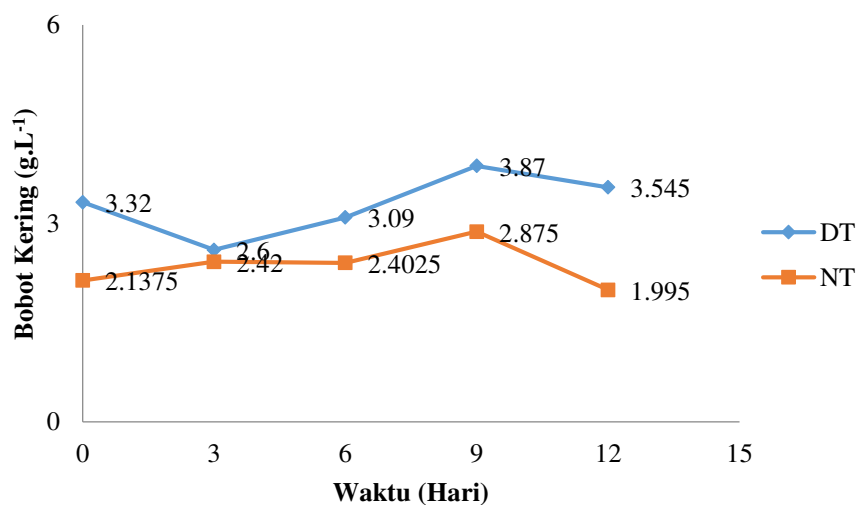
Produksi massal mikroalga akan sangat mahal apabila unsur utama seperti karbondioksida dan sinar matahari tidak tersedia. Oleh sebab itu, faktor utama untuk memproduksi massal mikroalga adalah ketersediaan karbon dioksida dan intensitas sinar matahari yang cukup. Menurut Molina *et al.* (1999) untuk memproduksi 100 ton biomassa dibutuhkan 183 ton karbondioksida. Untuk menghasilkan biomassa secara komersial maka karbondioksida harus disuplai secara terus menerus agar jumlah dan kualitas mikroalga yang dihasilkan tetap terjamin. Adanya pemanasan bumi *global warming* dan *climate change* akibat

aktivitas industri dan otomotif telah menyebabkan kelimpahan karbondioksida di udara (Basmal, 2008). Indonesia telah merasakan dampak dari penumpukan karbon dioksida di udara, oleh sebab itu produksi massal mikroalga merupakan hal yang positif untuk mengatasi penumpukan karbondioksida disamping untuk memperoleh biomasa untuk kebutuhan industri

Tabel 4. Hasil uji kimia dan bobot kering *Nannochloropsis* sp. (NT) dan *D. salina* (DT) yang dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60 °C.

Parameter	<i>D. salina</i> (DT)	<i>Nannochloropsis</i> sp. (NT)
1. Bobot Kering (g.L ⁻¹)	3,29	2,37
2. Kadar air (%)	15,58	12,39
3. Kadar abu (%)	58,29	58,00
4. Kadar protein (% bk)	17,08	16,17
5. Kadar lemak (% bk)	0,003	0,30
6. Kadar karbohidrat total (% bk)	15,07	19,08
7. Total karoten (ppm)		
8. Asam amino (% w/w bk)	0,19	0,27
- As. aspartat	0,73	1,57
- As. glutamat	0,73	0,96
- Serin	0,37	0,20
- Histidin	0,07	0,47
- Glisin	0,39	0,40
- Threonin	0,29	0,27
- Arginin	0,33	0,72
- Alanin	0,46	0,39
- Tirosin	0,21	0,47
- Metionin	0,06	1,17
- Valin	0,37	0,37
- Fenilalanin	0,32	1,06
- I-leusin	0,29	1,05
- Leusin	0,45	0,31
- Lisin	0,25	nd*
- Prolin	nd*	nd*

Keterangan : nd* = not detected



Gambar 3. Grafik bobot kering rerata *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp.

ii. Kadar Air

Nilai rerata kadar air *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 12,39% dan *D. salina* yaitu 15,58%. Hal ini diduga karena ada hubungannya dengan kepadatan yang dicapai oleh *Nannochloropsis* sp dan *D. salina*. Kepadatan biomassa *D. salina* ($4,29 \times 10^6 \pm 9,980 \times 10^7$) lebih tinggi jika dibandingkan dengan *Nannochloropsis* sp. ($1,58 \times 10^6 \pm 2,530 \times 10^7$) sehingga kadar air yang diperoleh *D. salina* lebih tinggi dibandingkan dengan *Nannochloropsis* sp.

Perbedaan kepadatan biomassa yang dihasilkan juga menyebabkan perbedaan tinggi volume disetiap kurs porselen sehingga pada suhu, waktu dan ukuran kurs porselen yang sama dengan volume endapan biomassa yang berbeda menyebabkan perbedaan hasil kadar air yang diperoleh. Sehingga kadar air akan tinggi dengan semakin padatnya biomassa yang dihasilkan. Selain perbedaan kepadatan jumlah biomassa, bentuk dan ukuran tempat yang digunakan untuk media perantara pemindah panas pada penelitian ini adalah kurs porselen juga ikut mempengaruhi hasil kadar air yang diperoleh dari proses pengeringan biomassa. Hal ini sejalan dengan pernyataan Buckle *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa jumlah bahan dan permukaan alat atau media perantara pemindah panas yang digunakan merupakan faktor yang mempengaruhi proses pengeringan, sehingga akan mempengaruhi perbedaan kadar air yang diperoleh pada setiap sampel.

Kadar air *Nannochloropsis* sp. pada penelitian ini (12,39%) lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Susilaningsih *et al.* (2009) yang hanya sebesar 3,23%. Demikian halnya dengan kadar air untuk sampel *D. salina* pada penelitian ini (15,58%) lebih tinggi jika dibandingkan dengan data yang dimiliki oleh Nutra-Kol Nutrition Solution Pty Ltd. (2010) yaitu 9,1%. Menurut Kusnandar (2010), kadar air dalam bahan dapat mempengaruhi umur simpan pada bahan tersebut.

iii. Kadar Abu

Kadar abu juga dikenal sebagai unsur mineral. Dalam proses pembakaran, bahan organik terbakar tetapi zat anorganiknya tidak sehingga disebut abu (Winarno, 2004). Penentuan kadar abu dilakukan dengan cara membakar semua zat organik pada suhu tinggi (500-600 °C) dan kemudian melakukan penimbangan zat yang tertinggal setelah proses pembakaran tersebut (Sudarmadji *et al.*, 2007).

Nilai kadar abu yang diperoleh pada pengujian sangat tinggi, yaitu 58,29% untuk *D. salina* dan 58,00% untuk *Nannochloropsis* sp. Hal ini disebabkan karena tingginya kandungan garam pada media. Garam yang tinggi digunakan untuk meningkatkan salinitas karena *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* merupakan alga yang hidup pada salinitas tinggi. Garam inilah yang mengakibatkan kadar abu sampel menjadi tinggi. Hal ini sejalan dengan pernyataan Sudarmadji *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa kadar abu ada hubungannya dengan mineral suatu bahan dan mineral tersebut dapat berupa garam.

Tingginya kadar abu yang diperoleh pada penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber mineral (makro nutrien). Menurut Winarno (2004) beberapa jenis unsur mineral yang berbeda diperlukan tubuh agar memiliki kesehatan dan pertumbuhan yang baik. Namun, tidak semua mineral yang terdapat pada bahan pangan dibutuhkan untuk pertumbuhan tubuh atau biasa disebut toksik (Andarwulan *et al.*, 2011).

iv. Kadar protein

Protein adalah sumber asam-asam amino yang mengandung unsur –unsur C, H, O, dan N yang tidak dimiliki oleh lemak atau karbohidrat (Winarno, 2004). Kandungan protein dalam bahan ditentukan menggunakan metode Kjeldahl dengan hasil yang bervariasi pada setiap bahan (Kusnandar, 2010). Hasil pengukuran kadar protein *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* yang telah dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60 °C yaitu berkisar antara 16,17% hingga 17,08%. Hasil kadar protein yang diperoleh pada *Nannochloropsi* sp. pada penelitian ini sebesar 16,17%, persentase ini lebih kecil jika dibandingkan dengan persentase kadar protein pada hasil penelitian Gao dan Hu (2006) yaitu sebesar 23-59%. Sedangkan

persentase kadar protein untuk sampel *D. salina* yaitu 17,08% yang lebih tinggi dibandingkan dengan persentase kadar protein pada data Nutra-Kol Nutrition Solution Pty Ltd. (2010).

Dari hasil kisaran kadar protein yang diperoleh pada penelitian ini, biomassa *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* yang dihasilkan pada media penambahan limbah cair tahu dan media pupuk teknis tidak dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein karena kadar protein tertinggi yang diperoleh hanya sebesar 17,8%. Meskipun menurut Becker (1994) protein yang terkandung dalam mikroalga memiliki jenis asam amino esensial seperti leusin, isoleusin dan valin, namun menurut Ben-Amotz (2009), suatu bahan dapat memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai sumber protein pangan dan pakan apabila memiliki kadar protein sebesar 20-50%.

v. Kadar Lemak

Nannochloropsis sp. dan *D. salina* merupakan jenis mikroalga yang berpotensi untuk pembuatan biodiesel karena memiliki kadar lemak yang tinggi. Menurut Chisti (2007) kedua mikroalga tersebut memiliki kandungan lemak sebesar 23% (bobot kering) untuk *Dunaliella* dan 31-68% (bobot kering) untuk *Nannochloropsis* sp. Namun pada penelitian ini tidak menunjukkan adanya potensi untuk pembuatan biodiesel, hal ini dikarenakan kadar lemak yang diperoleh sangat rendah. Sedangkan kadar lemak yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai biodiesel berkisar antara 8-50% (Ben-Amotz, 2009). Nilai kadar lemak untuk *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 0,30%. Sedangkan untuk kadar lemak *D. salina* yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 0,003% (Tabel 4).

Kadar lemak untuk *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh pada penelitian ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian Susilaningsih *et al.* (2009) dan Gao dan Hu (2006). Pada penelitian ini kadar lemak yang diperoleh pada sampel *Nannochloropsis* sp. sebesar 0,30% sedangkan pada penelitian Susilaningsih *et al.* (2009) kadar lemak yang diperoleh sebesar 15,35% untuk *Nannochloropsis* sp. tanpa perlakuan penepungan dan 30,35% untuk *Nannochloropsis* sp. dengan perlakuan penepungan dan pada penelitian Gao dan Hu (2006) rerata kadar lemak mencapai 9-62%.

Kadar lemak untuk *D. salina* yang diperoleh pada penelitian ini juga jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian Weldy dan Huesemann (2007). Kadar lemak *D. salina* yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 0,003% sedangkan pada penelitian Weldy dan Huesemann (2007) rerata kadar lemak yang diperoleh sebesar 15-45%. Hal ini diduga karena pengaruh media yang digunakan untuk pertumbuhan pada penelitian ini berbeda dengan media yang digunakan pada penelitian Susilaningsih *et al.* (2009) dan Weldy dan Huesemann (2007) serta Gao dan Hu (2006). Hal ini sejalan dengan pernyataan Chisti (2007) bahwa mikroalga yang dikultur pada kondisi media yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kandungan nilai proksimat.

Komposisi media dan pupuk juga sangat mempengaruhi hasil kadar lemak yang diperoleh. Selain dari limbah cair tahu, faktor N juga terdapat pada jenis pupuk teknis yang digunakan yaitu pada pupuk urea $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ dan ZA $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$. Menurut Kawaroe *et al.* (2010), kadar N yang tinggi pada media kultivasi merupakan faktor rendahnya total lemak yang dihasilkan. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Borowitzka dan Borowitzka (1988) bahwa faktor nutrisi nitrogen dalam medium akan berpengaruh terhadap lipid intrasel dalam mikroalga.

vi. Kadar Karbohidrat Total

Karbohidrat adalah senyawa organik yang terdapat di alam yang jumlahnya paling banyak. Karbohidrat diproduksi oleh tanaman melalui proses fotosintesis, yang disertai dengan pembentukan oksigen dan pelepasan energi (Kusnandar, 2010). Kadar karbohidrat total pada penelitian ini dilakukan dengan metode *by different* yaitu hasil pengurangan 100% sampel terhadap kadar air total, protein total, lemak total, dan abu total. Hasil pengukuran kadar karbohidrat total menunjukkan kadar karbohidrat total yang diperoleh pada sampel *Nannochloropsis* sp. pada penelitian ini adalah sebesar 19,08% dan *D. salina* sebesar 15,07%. Hasil rerata perhitungan kadar karbohidrat total yang diperoleh *Nannochloropsis* sp.

yaitu 19,08% (bk) dan untuk *D. salina* yaitu 15,07% (bk) merupakan rerata yang paling tinggi jika dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran kadar protein dan kadar lemak.

Berdasarkan hasil rerata perhitungan kadar karbohidrat total yang diperoleh pada penelitian ini, sampel *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* pada media pertumbuhan kombinasi limbah cair tahu dan pupuk teknis tidak memiliki potensi sebagai bahan baku bioetanol karena persentase kadar karbohidrat yang diperoleh belum mencapai 20%. Hal ini sejalan dengan pernyataan Ben-Amotz (2009) yang menyatakan bahwa syarat suatu bahan yang berpotensi sebagai sumber bioetanol adalah memiliki kandungan karbohidrat yang berkisar antara 20-50%. Namun, hasil pengukuran kadar karbohidrat pada penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan hasil rerata karbohidrat pada penelitian Gao dan Hu (2006) yaitu 5-17% untuk *Nannochloropsis* sp.. Sedangkan untuk *D. salina* kadar karbohidrat yang diperoleh pada penelitian ini juga lebih besar jika dibandingkan dengan data yang dimiliki Nutra-Kol (2011) yang hanya mencapai 9,4 %.

vii. Total karoten

Pigmen adalah salah satu komponen yang terkandung dalam sel, seperti contohnya karoten yang bisa diperoleh dari biomassa mikroalga (Gireesh, 2007). Karotenoid alami (juga dikenal sebagai ekstrak karoten) secara alami memberikan pigmen warna pada berbagai tumbuhan termasuk buah-buahan dan sayuran. Karotenoid berperan penting bagi kesehatan dan kelangsungan hidup manusia. Karotenoid dapat meningkatkan sistem imun, perlindungan terhadap kanker dan juga berfungsi sebagai antioksidan (Winarno, 2004).

Hasil rerata total karoten *Nannochloropsis* sp. yang telah dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60 °C pada penelitian ini yaitu sebesar 0,27 ppm dan untuk *D. salina* sebesar 0,19 ppm. Hasil rerata total karoten yang diperoleh pada penelitian ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian Mayanti (2009) menunjukkan hasil total karoten *D. salina* tertinggi sebesar 66,44% dengan media kultur menggunakan pupuk Conway dan waktu pengeringan selama 36 jam. Hal ini diduga karena perbedaan pupuk dan waktu pengeringan yang digunakan. Selain itu, rerata total karoten yang diperoleh pada penelitian ini (0,19 ppm) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian Gomez *et al.* (2003) yaitu sebesar 12,9 mg.L⁻¹ (setara dengan 12,9 ppm). Total karoten yang diperoleh untuk sampel *Nannochloropsis* sp. hanya sebesar 0,27 ppm. Sedangkan data Guedes *et al.* (2011) total karoten untuk *Nannochloropsis* sp. yaitu 250 ppm.

Rendahnya kadar lemak yang diperoleh pada penelitian ini diduga mempengaruhi rendahnya hasil total karoten yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena karoten merupakan golongan terpenoid yaitu pigmen yang larut lemak (Harborne, 1996). Hal ini sejalan dengan pernyataan Syukri (1994) yang menyatakan bahwa karoten merupakan senyawa volatile dan senyawa nonpolar yang tidak larut dalam air (pelarut polar) tetapi larut dalam lemak (pelarut non polar), sehingga semakin rendah kadar lemak maka total karoten yang dihasilkan juga akan rendah.

viii. Asam Amino

Asam amino adalah senyawa organik penyusun protein yang memiliki dua buah gugus fungsional primer, yaitu gugus amin (-NH₂) dan gugus karboksil (-COOH) (Kusnandar, 2010). Mutu protein dinilai dari perbandingan asam-asam amino yang terkandung dalam protein tersebut. Hal ini sejalan dengan pernyataan Winarno (1991) yang menyatakan bahwa protein yang kekurangan satu atau lebih jenis asam amino esensial mempunyai mutu yang rendah.

Hasil pengujian sampel pada penelitian ini menunjukkan bahwa semua jenis asam amino esensial dapat terdeteksi kecuali untuk asam amino esensial jenis lisin yang hanya terdeteksi pada sampel *D. salina* yaitu 0,25%. Sedangkan untuk jenis asam amino non-esensial hanya terdeteksi 6 jenis asam amino yaitu as. aspartat, as. glutamat, serin, glisin, alanin, dan tirosin.

Asam amino tertinggi dari penelitian ini adalah asam aspartat (1,57%) untuk *Nannochloropsis* sp. Sedangkan untuk *D. salina* asam amino tertinggi yang diperoleh adalah asam aspartat (0,73%) dan asam glutamat (0,73%). Asam aspartat adalah salah satu jenis asam amino yang tertinggi untuk *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* yang dalam media dengan penambahan limbah cair tahu. Asam aspartat dapat diperoleh dari asparagin, dimana asparagin terdapat pada konglutin dan legumin yaitu protein dalam tumbuhan (Poedjiadi, 1994). Asam glutamat (0,73%) yang tertinggi terdapat pada *D. salina* yang dikultur dalam media dengan penambahan limbah cair tahu. Asam glutamat merupakan kelompok asam amino asam yang memiliki dua gugus karboksilat, yaitu gugus karboksil α dan yang terikat pada gugus R (Kusnandar, 2010).

Tabel 5. Kandungan asam amino *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina*

Parameter	Hasil			
	NT	Ns ₁	DT	Ds ₁
Asam Amino				
As. Aspartat	1,57	0,95	0,73	11,
As. Glutamat	0,96	1,53	0,73	90
Serin	0,20	0,86	0,37	10,04
Histidin	0,47	0,62	0,07	5,29
Glisin	0,40	1,04	0,39	1,08
Threonin	0,27	nd*	0,29	13,93
Arginin	0,72	1,11	0,33	3,93
Alanin	0,39	2,32	0,46	0,49
Tirosin	0,47	0,38	0,21	12,53
Metionin	1,17	0,41	0,06	2,08
Valin	0,37	0,98	0,37	nd*
Fenilalanin	1,06	0,59	0,32	4,56
I-leusin	1,05	1,40	0,29	3,03
Leusin	0,31	1,73	0,45	2,60
Lisin	nd*	0,67	0,25	8,52
Prolin	nd*	3,52	nd*	6,15
				nd*

Keterangan : nd* : not detected

NT : *Nannochloropsi* sp, Media kultur limbah tahu 41% + pupuk teknis 59%

Ns₁ : *Nannochloropsis* sp., Mohammady *et al.*, (2005)

DT : *D. salina*, Media kultur limbah tahu 81% + pupuk teknis 19%

Ds₁ : *D. salina* , El-Sheekh *et al.* (2011)

Namun jika dibandingkan dengan data hasil penelitian Mohammady *et al.* (2005) untuk asam amino *Nannochloropsis* sp. pada penelitian ini terdapat 2 jenis asam amino yang tidak dapat terdeteksi yaitu, lisin dan prolin. Sedangkan pada hasil penelitian Mohammady *et al.* (2005) yang menggunakan media BES jenis asam amino yang tidak terdeteksi adalah threonin. Jenis asam amino yang tidak dapat terdeteksi untuk sampel *D. salina* pada penelitian ini adalah prolin. Data hasil penelitian El-Sheekh *et al.* (2011) yang menggunakan media MH (Loeblich, 1982), jenis asam amino prolin dan metionin tidak terdeteksi. Sedangkan pada penelitian ini jenis asam amino metionin pada sampel *D. salina* dapat terdeteksi dengan persentase sebesar 0.06%. Perbandingan asam amino pada penelitian ini dengan data hasil penelitian Mohammady *et al.* (2005) dan El-Sheekh *et al.* (2011) disajikan pada Tabel 5.

Namun demikian, jumlah rata-rata persentase asam amino keseluruhan dari sampel *Nannochloropsis* sp. dan *D. salina* yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan data hasil penelitian Mohammady *et al.* (2005) dan El-Sheekh *et al.* (2011). Rendahnya persentase asam amino yang dihasilkan pada penelitian ini diduga berkaitan dengan rendahnya kadar protein yang diperoleh. Menurut Winarno (2004), asam amino merupakan penyusun molekul protein, sehingga semakin rendah kadar protein yang

diperoleh maka persentase asam amino yang dihasilkan juga akan semakin rendah dan jumlah asam amino yang dihasilkan semakin sedikit. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Lehninger (1982) bahwa untuk menentukan jumlah tiap-tiap asam amino dapat dilakukan dengan menghidrolisa protein.

b. Potensi Pemanfaatan *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp.

D. salina dan *Nannochloropsis* sp. dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan penting seperti sebagai sumber substansi bioaktif, bahan dasar pakan ternak dan keperluan pertanian (pupuk), serta sumber energi alternatif yang terbarukan (Kawaroe *et al.*, 2010). Namun, pemanfaatan *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. sebagai bahan baku industri harus dilihat dari kualitas yang dimiliki oleh biomasa. Biomasa mikroalga yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki mutu yang rendah. Hal ini dapat dilihat dari karakteristik kimiawi yang dihasilkan lebih rendah dari syarat mutu mikroalga yang ditetapkan untuk bahan baku. Syarat mutu mikroalga dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Syarat Mutu Mikroalga sebagai Bahan Baku

Tujuan Industri	Karakteristik kimiawi
1. Pangan dan pakan (<i>Food & Feed</i>)	Protein 20-50%*
2. Bio-diesel	Lemak 8-50%*
3. Bio-ethanol	Karbohidrat 20-50%*

Keterangan : * : Ben-Amotz (2009)

Dari data diatas, biomasa *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. yang dihasilkan pada penelitian ini tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pangan, pakan, biodiesel, dan bioetanol karena karakteristik kimiawi yang terkandung dalam biomasa tidak memenuhi standar mutu mikroalga yang telah ditetapkan. Namun pemanfaatan limbah cair tahu untuk media kultivasi *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. dapat membantu mengatasi masalah limbah yang dihasilkan oleh industri tahu. Penggunaan limbah cair tahu memberikan manfaat sebagai sumber nitrogen untuk mikroalga, sehingga mengurangi pencemaran ke dalam lingkungan. Hal ini dikarenakan oleh sifat yang dimiliki mikroalga sebagai bio-absorben. Sehingga media air limbah dapat diolah secara biologis oleh mikroalga sekaligus memberikan masukan nutrient untuk pertumbuhannya.

Berdasarkan hasil penelitian Amin (2011) perlakuan limbah cair tahu menghasilkan kemampuan bioremediasi serta produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan limbah lateks. *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. dapat tumbuh dengan baik dengan memanfaatkan nutrient yang berasal dari limbah cair tahu yang menjadi media tumbuhnya. Hal ini dapat dilihat dari bobot kering biomasa *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh pada penelitian ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian penelitian Weldy dan Huesemann (2007) dan Gao dan Hu (2006) yang tidak menggunakan limbah cair tahu pada media kultivasinya.

Penggunaan mikroalga dalam pengolahan air limbah memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan pengolahan menggunakan bahan kimia. Menurut Kawaroe *et al.* (2010), beberapa keuntungan penggunaan mikroalga dalam pengolahan air limbah yaitu : biaya efektif, kebutuhan energi rendah, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan dapat memperoleh produk sampingan berupa biomasa mikroalga. Produk sampingan biomasa yang dihasilkan dari kultivasi pada limbah cair tahu dapat digunakan sebagai pupuk organik sebagai sumber alternatif pengganti pupuk-pupuk pertanian yang mengandung bahan kimia sintesis. Mineral-mineral yang terkandung dalam limbah cair tahu terakumulasi pada biomasa diduga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk.

4. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah biomassa *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki karakteristik mutu kimiawi yang lebih rendah dari persyaratan mutu mikroalga sebagai bahan baku industri pangan, pakan, biodiesel dan bioetanol. Namun *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. yang dihasilkan pada penelitian ini mengandung asam amino esensial yang dibutuhkan oleh tubuh yaitu: histidin, threonin, arginin, metionin, fenilalanin, valin, isoleusin, leusin dan asam aminon non esensial yaitu: asam aspartat, asam glutamate, serin, glisin, alanin, serta tirosin.

b. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan teknik pemanenan dan pengeringan sehingga dapat menghasilkan mutu *D. salina* dan *Nannochloropsis* sp. yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist) (1984). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 14th ed. Arlington, VA 22209 USA.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysts of Official Analytical Chemists, 16th. AOAC Inc. Arlington. Virginia.
- Amin, F. 2011. Kultur *Dunaliella salina* Skala Semi Masal dalam Media Pupuk Teknis, Limbah Cair Tahu dan Limbah Lateks. [skripsi]. Indralaya: Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya
- Andarwulan, N. F. Kusnandar. dan D. Herawati. 2011. Analisis Pangan. Penerbit Dian Rakyat. Jakarta
- Anonim. 2009. Penggunaan dan Teknik Produksi Pakan Alami : Mikroalga. (online). (<http://www.sith.itb.ac.id> diakses 31 Agustus 2010).
- Apriliyanti, S, N.Cholifah dan S.W. Sumijati. 2006. Kultur Plankton dengan Media Berkadar Garam Tinggi pada Skala Semi Massal. Laporan Kegiatan BBPBAP Jepara Tahun 2006. Jepara.
- Basmal, J. 2008. Peluang dan Tantangan Produksi Mikroalga Sebagai Biofeul. Jurnal *Squalen*. Vol.3. No.1 : 34-40
- Becker, E.W. 1994. In "Microalgae: biotechnology and microbiology". (online). (<http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e0h.htm> diakses 12 September 2011)
- Ben-Amotz. 2009. Bio-Fuel and CO₂ Capture by Micro-Algae. (online). (<http://newbusiness.grc.nasa.gov> diakses 02 Agustus 2011).
- Borowitzka, MA and LJ Borowitzka. 1988. Microalgal Biotechnology. Cambridge University Press. Cambridge.
- Buckle, KA., R.A.Edward., G.H. Fleet., dan M. Wooton. 2007. Ilmu Pangan. penerjemah ; Purnomo H, editor. Jakarta. UI-Press. Terjemahan dari: *Food Science*.
- Chisti, Y. 2007. "Biodiesel From Microalgae", *Biotechnology Advances*, Vol. 25, hal. 294-306.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air: bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius: Yogyakarta
- El-Sheekh, M., E.M. Fakhry dan A.A. Tammam. 2011. Effect of Salt Stress on Antioxidant System and the Metabolism of the Reactive Oxygen Species in *D. salina* and *Dunaliella tortiolecta*. *African Journal of Biotechnology*. Vol 10 (19) : 3798-3808
- Gani,M.L, Marwa dan Haryanto. 2005. Penggunaan *Phytozyme 2-2-2* untuk Budidaya Fitoplankton (*Dunaliella* sp) pada Skala Laboratorium. Kumpulan Makalah Pertemuan UPT Payau dan Laut Tahun 2005.

- Gao, K., dan H. Hu. 2006. Response of Growth and Fatty Acid Compositions of *Nannochloropsis* sp. to Environmental Factors Under Elevated CO₂ Concentration. *Biotechnol Lett.* 28 : 987-992
- Gireesh, R. 2007. Proximate Composition, Chlorophyll *a*, and Carotenoid Content in *D. salina* (Dunal) Teod (Chloropycea: Dunaliellaceae) Cultured with Cost-Effective Seaweed Liquid Fertilizer Medium. *Tubitak Research Article* : 21-26
- Gomez, P.I., A. Barriga., A.S. Cifuentes, dan M.A. Gonzalez. 2003. Effect of Salinity on The Quantity and Quality of Carotenoids Accumulated by *D. salina* (strain CONC-007) and *Dunaliella bardawil* (strain ATCC 30861) Chlorophyta. *Biol Res* 36 : 185-192
- Guedes, A.C., H.M. Amaro, dan F.X. Malcata. 2011. Microalga as Sources of Carotenoids. *Journal of Marine Drugs*. 9 : 625-644
- Handajani, H. 2006. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Alternatif pada Kultur Mikroalga *Spirulina* sp. *Jurnal Protein*. No.2 Vol 13:188-193
- Harborne, J.B. 1996. Metode Fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan. Edisi ke-2, penerjemah ; Padmawinta, K. dan Sodira, I., editor. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Heryani. Putri, S.F. dan A.W. Ninggar. 2009. Pembuatan Bubur Instan Bekatul Padi Sebagai Alternatif Pangan Untuk Mencegah Hiperkolesterolemia. [Laporan Kegiatan Kreativitas Mahasiswa]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Hossain, A.B.M., A. Salleh, A.N. Boyce, P. Chowdhury, M. Naqiuddin. 2008. Biodiesel Fuel Production from Algae as Renewable Energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. Vol 4 (3) :250-254
- Irawan, B., M. Marissa dan Atiek. 2009. Pemanfaatan Alga Laut *Nannochloropsis oculata* Sebagai Sumber Antioksidan untuk Pengendali Vibriosis pada Ikan Kerapu. Program Kreativitas Mahasiswa. Universitas Brawijaya. Malang
- Isnansetyo, A dan Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton. Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut. Yogyakarta: Kanisius
- Kabinawa, I.N.K., D. Susilaningih, dan N.W.S. Agustini. 1994. Produksi biomasa mikroalga *Chlorella pyrenoidosa* dalam skala rumah kaca. (online). (<http://katalog.pdii.lipi.go.id> diakses 11 Mei 2010)
- Kawaroe, M. T. Prartono, A. Sunuddin, D.W. Sari, dan Augustine, D. 2010. Mikroalga : Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar. Penerbit Institut Pertanian Bogor Press. Bogor
- Kusnandar, F. 2010. Kimia Pangan : Komponen Makro. Dian Rakyat : Jakarta
- Lamers, P. 2009. Metabolomics of carotenoid biosynthesis in the alga *Dunaliella salina*. (online). (<http://www.google.com> , diakses 28 Januari 2012)
- Lehninger, A.L. 1982. Dasar-dasar Biokimia. penerjemah : Thenawidjaja, M. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Loeblich, L.A. 1982. Photosynthesis and pigment influenced by light intensity and salinity in the halophilic *Dunaliella salina* (Chlorophyta). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 62:493-508
- Luh, S. 1991. Rice Production and Utilization. Westport: The AVI Publishing Company.
- Mayanti, R.M. 2009. Pengaruh Perbedaan Waktu Pengeringan Terhadap Total Karoten Pada Mikroalga *Dunaliella salina*. [skripsi]. Indralaya : Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya
- Mohammady, N.G., Y.C. Chen, A. El-Mahdy, R.F. Mohammad. 2005. Physiological Responses of the Eustigmatophycean *Nannochloropsis salina* to Aqueous Diesel Fuel Pollution. *Oceanologia*. 47 (1) : 75-92
- Molina., E. Grima, Acién, F.G. Fernández, F. García Camacho, and Y. Chisti. 1999. Photobioreactors: light regime, mass transfer and scaleup. *J. Biotechnol.* 70 : 231-47.
- Muliono. 2004. Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Terhadap Kondisi Sel *Nannochloropsis* sp. [skripsi]. Bogor : Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (tidak dipublikasikan)

- Nutra-Kol Nutrition Solution Pty Ltd. 2010. (online) (<http://www.nutrakol.com/nutrition> and health of *Dunaliella salina* diakses 27 Agustus 2010).
- Octophus. 2009. Pemanfaatan Axanthin. (online) (<http://octophus.wordpress.com> diakses 15 Mei 2010).
- Panggabean, L.M.G. 1998. Mikroalgae : Alternatif Pangan dan Bahan Industri Dimasa Mendatang. Oceana. Vol XXIII, No.1, 19-26
- Pisal, D.S. dan S.S.Lele. 2004. Carotenoid Production from Microalga *Dunaliella salina*. Indian Journal of Biotechnology. Vol 4 :476-483
- Poedjiadi, A. 1994. Dasar-dasar Biokimia. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Puspasari, R. 2000. Peranan fitoplankton dalam mengurangi kandungan logam berat Pb dalam air laut. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. (tidak di publikasikan)
- Rinitiani. 2010. Pertumbuhan Populasi *D. salina* dalam Kombinasi Yashima dengan Limbah Tahu dan Limbah Lateks Cair. [skripsi]. Universitas Sriwijaya. (tidak di publikasikan)
- Sasmita, P.G, I.G.Wenten dan G.Suantika. 2004. Pengembangan Teknologi Ultrafiltrasi untuk Pemekatan Mikroalga. (prosiding) Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses.
- Sembiring, Z., Suharso,. Regina., M.Faradila., dan Murniyati.2008. Studi Proses Adsorpsi-Desorpsi Ion Logam Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) Terhadap Pengaruh Waktu dan Konsentrasi pada Biomasa *Nannochloropsis sp.* yang Terenkapsulasi Aqua-Gel Silika dengan Metode Kontinyu. Universitas Lampung 17-18 November 2008. Tahun 2008. hlm 591-602.
- Sleigh, M.A. 1989. Protista and Other Protist. Edgard Arnold. London
- Sudarmadji, S., B.Haryono. dan Suhardi. 2007. Analisis Bahan Makanan dan Pertanian. Liberty : Yogyakarta
- Susilaningsih, D., A.C.Djohan, D.N.Widyaningrum, dan K.Anam. (2009). Biodiesel from Indigeneous Indonesian Marine Microalgae, *Nannochloropsis sp.* Journal of Biotechnology Research of Tropical Region 2:1-4
- Syukri. S. 1994. Kimia Dasar Jilid I. Penerbit Institut Teknologi Bandung:Bandung
- Tjahjo, W., L.Erawati, dan S.Hanung. 2002. Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton. Direktorat Jendral Perikanan Budidaya Departemen Kelautan dan Perikanan: Proyek Pengembangan Perekayasaan Ekologi Balai Budidaya Laut Lampung.
- Tri-Panji, Suharyanto & Y. Away . 1994. Produksi protein sel tunggal menggunakan limbah lateks pekat. Menara Perkebunan, 62 (2), 36-40.
- Vonshak, A. 1996. *Spirulina platensis* (Arthospira).Taylor & Francis, Great Britain
- Weldy, C.S, dan M.Huesemann. 2007. Lipid by *D. salina* in Batch Culture: effects of Nitrogen Limitation and Light Intensity. *Journal of Undergraduate Research. Department of Energy*. Vol 7 Issues 7. Pages : 115-12
- Widjaja, A. 2009. Lipid production from microalgae as a promising candidate for biodiesel production. *J Makara- Teknologi* 13(1):47-51.
- Wijayanti, M. 2010. Bioremediasi Limbah Cair Tahu dan Lateks untuk Produksi *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella*, dan *Nannochloropsis* Di Daerah Rawa. [laporan akhir penelitian hibah bersaing].Universitas Sriwijaya. Indralaya. Tidak dipublikasikan.
- Winarno. F.G.2004. Kimia Pangan dan Gizi. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Yuda, AP. 2008. Senyawa Antibakteri dari *Mikroalga Dunaliella sp.* pada Umur Panen yang Berbeda. [skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Zhu, Y.H dan J.G. Jiang. 2008. Continuous cultivation of *Dunaliella salina* in photobioreactor for the production of β -carotene. *Eur Food Res Technol*. 227:953–959